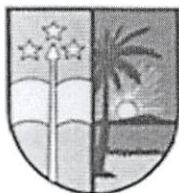


REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

UNIVERSITE DE KISANGANI

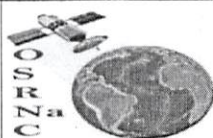


B.P. 2012

FACULTE DE GESTION DES RESSOURCES NATURELLES
RENOUVELABLES

Département des Eaux et Forêts

MODELISATION SPATIALE DES ESSENCES A
CHENILLES COMESTIBLES DANS L'ILE KONGOLO



Par :

Yves Matthieu MOANGO AMBELE



Travail de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du Grade
d'Ingénieur en Sciences Agronomiques

Directeur : Prof. Dr. Albert KABASELE YENGAYENGA

Encadreurs : Ass. Ir. Annie EUNGI ELUO

ANNEE ACADEMIQUE : 2015-2016

EPIGRAPHIE

« La forêt est une source de richesse, mais l'augmentation de la population, si elle n'est pas contrôlée, est un facteur de déséquilibre dans la nature »

Ehrich, 1970

DEDICACE

A vous mes parents Adrien MOANGO MANGA et Antho LETSHU AMBOSHI,

A toutes les familles MOANGO et LETSHU

A vous mes frères, mes sœurs et mes connaissances,

Je dédie ce travail.

REMERCIEMENTS

La rédaction de cette dissertation de fin d'études est un excellent privilège de notre part de rendre un vibrant hommage au Seigneur Dieu Tout-puissant qui, de sa parfaite et agréable volonté ; a permis que nous soyons aujourd'hui en mesure de terminer nos études universitaires en dépit des contingences de la vie socio-économique du moment.

Nos sincères sentiments s'adressent à tout le personnel académique et scientifique de l'université de Kisangani, plus particulièrement ceux de la Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, qui nous ont assuré une formation de qualité.

De façon plus particulière, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude au Professeur Albert KABASELE YENGA YENGA qui a accepté de diriger ce travail avec rigueur, compétence, amour, mû par la passion de communiquer sa science aux autres, qu'il trouve ici l'expression de nos sentiments de reconnaissance réitérés.

Les mêmes remerciements s'adressent à l'ingénieur ANNIE EUNGI qui, en dépit de ces multiples occupations, a bien voulu assurer avec compétence l'encadrement de ce travail.

Nos sentiments de gratitude s'adressent également à la famille de notre oncle, Docteur Richard LETSHU, pour son enthousiasme, ses multiples conseils et encouragements qui ont constitué un apport moral à notre égard.

Notre gratitude s'adresse également du fond du cœur à Monsieur l'Abbé Victor MBATU, Curé et Aumônier de la Paroisse Saint Esprit ainsi qu'à tous les frères et sœurs de la Paroisse Saint Esprit pour nous avoir porté dans leurs prières.

Nos sentiments vont tout droit aux familles de nos tantes et oncles paternels et maternels : Jean AMBELE, Marie Claire YANDJU, Marcus OMOKOKO, Marcel ONEMA, Daudet DIATA, Marie-Helene LETSHU SHEKA, Bébé EKONGO, Jean-Claude ONEMA, Méride EKANGA, Michel OKOU, Papy EYAMBA...

Nous ne pouvons clore cette page sans pour autant remercier d'une manière particulière tous nos compagnons de lutte, amis et camarades avec qui nous avons passé les moments merveilleux de la vie estudiantine. Nous pensons à Cédric BWALILA, Myriam LOSA, Elvire SAFI, Fortuna MILAMBO, Errol ASSANI, Adonis MALONGA, Boreck GATA, Gladys, Alice EKOKO, Fidele SUNGA, Michel MPIA, Charlotte KAVIRA, Rhodes BEBOKA, Christian DUDU, Jamal BARUMBI, Jean AMISI, Franck BISELENGE, Louis APOTA, Marcel BATULA, Irénée ESUKU, Gladys YAFALI, Fiston MASUDI, Judith KAHINDO, Passy KASANGE, Charly KANGELA, Moïse BETUMA, BORA SHAULA, Hulda HATAKIWE...

Nous vous disons sincèrement merci et prions le Seigneur Jésus-Christ de vous combler d'abondantes grâces divines.

Yves Matthieu MOANGO AMBELE

Listes des figures

Figure1 : Schéma conceptuel MADS

Figure2 : Composition du spectre électromagnétique

Figure 3 : *Petersianthus angolensis*, hôte des chenilles comestibles

Figure 4 : Localisation de l'île Kongolo en R.D.Congo

Figure 5 : Prélèvement des coordonnées géographiques.

Figure 6 : Méthode de pesée hydrostatique

Figure 7 : Carte dans l'île Kongolo.

Figure 8 : Courbe de niveau dans l'île Kongolo.

Figure 9 : Dispersion des arbres à chenilles répertoriés dans l'île Kongolo.

Figure 10 : *Présentation sur fond LANDSAT des arbres à chenilles comestibles de l'île Kongolo*

Figure 11 : Indice de la végétation de la ville de Kisangani sous Idrisi Andes.

Figure 12 : Modélisation des espèces à chenilles comestibles de l'île Kongolo

Liste des tableaux

Tableau 1 : Données climatiques de la ville de Kisangani en 2015

Tableau 2 : Fréquences des essences à chenilles comestibles dans la réserve forestière de l'île Kongolo

Tableau 3 : Densité des essences de l'île Kongolo

Tableau 4 : Stockage du carbone des essences à chenilles dans l'île Kongolo

Tableau 5 : Fréquences des essences à chenilles comestibles dans la réserve forestière de l'île Kongolo

Tableau 6 : Analyse de variance des interactions paramètres dendrométriques et essences à chenilles de l'île Kongolo.

Tableau 7 : Matrice de corrélations entre les paramètres dendrométriques des essences à chenilles dans l'île Kongolo.

Tableau 8 : Equation de régression multiple du stock de carbone dans les arbres à chenilles dans l'île Kongolo

Tableau 9 : Prévisions numériques de fréquence des arbres à chenilles sous Modèle ANOVA

Tableau 10 : Equation de régression multiple du stock de carbone dans les arbres à chenilles dans l'île Kongolo

Tableau 11 : Test de Khi- carré en fonction du nombre d'espèces Test de khi carré en fonction de diamètre

Nom Scientifique	DHP(cm)	DHP(m)	((DHP(m)) ²	Hauteur(m)	DB_DensitéBois	Masse(Kg)
Petersianthus angolensis	63,69	0,6369	0,40564161	8	1,27	3235,235225
Symphonia globulifera	0,79	0,0079	0,00006241	6	4,1	1,20519951
Symphonia globulifera	0,63	0,0063	0,00003969	6	4,1	0,76645359
Pycnanthus angolensis	0,61	0,0061	0,00003721	5	1,24	0,18110107
Ricinodendron heuideleti	0,95	0,0095	0,00009025	10	0,35	0,247961875
Erythroleum suaveolens	0,39	0,0039	0,00001521	4	1,48	0,070683912
Erythroleum suaveolens	9,12	0,0912	0,00831744	11	1,48	106,2952197
Pycnanthus angolensis	27,38	0,2738	0,07496644	7	1,24	510,8063289
Symphonia globulifera	63,69	0,6369	0,40564161	11	4,1	14361,13274
Ricinodendron heudeloti	29,29	0,2929	0,08579041	12	0,58	468,7244841
Symphonia globulifera	0,5	0,005	0,000025	8	4,1	0,6437
Symphonia globulifera	0,61	0,0061	0,00003721	7	4,1	0,838322695
Symphonia globulifera	0,38	0,0038	0,00001444	6	4,1	0,27885084
Symphonia globulifera	0,54	0,0054	0,00002916	10	4,1	0,9385146
Symphonia globulifera	0,38	0,0038	0,00001444	4	4,1	0,18590056
Pycnanthus angolensis	0,61	0,0061	0,00003721	6	1,24	0,217321284
Symphonia globulifera	0,61	0,0061	0,00003721	8	4,1	0,95808308
Petersianthus angolensis	0,87	0,0087	0,00007569	8	1,24	0,589413168

Liste des sigles utilisés

1. GPS : Global Positionning System
2. MNT : Modèle Numérique de Terrain
4. OSFAC : Observatoire Satellitale des Forêts d'Afrique Centrale
5. SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
7. MCD : Modèle conceptuel des données
8. MADS : Modèle ER étendu aux données spatiales
9. UNFCCC : Forum des Nations Unies pour la Lutte Contre les Changements Climatiques.
10. LIDAR : Light.
11. ORSNAC : Laboratoire de l'Observatoire Spatial des Ressources Naturelles et du Climat
13. QGIS : Quantum Geographical Information System.
14. NDVI : Normalized Difference Vegetation Index.

0. INTRODUCTION

La structure de la végétation renvoie à l'agencement de ses constituants (individus, organes) dans l'espace tridimensionnel, organisation quantifiable au travers des variables (densité, hauteur d'arbre, profil de biomasse, etc.) susceptibles d'être estimées par des procédures de terrain. Le rôle capital de la végétation est donc étudié depuis bien longtemps, mais l'ère de la télédétection a ouvert de nouvelles portes vers une meilleure compréhension de son fonctionnement.

En effet pour la première fois, la végétation allait pouvoir être surveillée de manière globale à intervalles de temps réguliers. C'est pourquoi, dès les débuts de la télédétection, des chercheurs ont tenté de quantifier l'état de la végétation en utilisant des « indices de végétation » (Beckage et Clark, 2003). Dès la création du premier indice, les capacités de ce concept ont vite été avérées.

L'observation spatiale devient nécessaire pour l'analyse à grande échelle des structures de la Végétation ainsi que le suivi des processus fonctionnels (échanges avec l'atmosphère) ou dynamiques qui lui sont liés. L'enjeu est particulièrement fort pour les peuplements forestiers à forte biomasse et à structure multi-strates complexe, tels que les forêts naturelles des tropiques humides.

Pour ces milieux, les techniques de télédétection employées au cours des deux dernières décennies ont souvent achoppé sur la saturation des signaux optiques ou radar à partir des niveaux de biomasse intermédiaires.

Des travaux récents sur les données optiques à montrent cependant que l'analyse des variations spatiales du signal par les approches de texture et d'identification d'objets (en partenariat avec l'EPI ARIANA de l'INRIA-Méditerranée) peut être corrélée à celle des variables de structure, hors effet de saturation.

Par ailleurs, les signaux pénétrant le couvert (LIDAR, radar) restent une source complémentaire de progrès dans la caractérisation de la structure 3-D du couvert forestier.

Pour assurer « l'inversion » des mesures de télédétection en informations thématiques avérées, le couplage, à différentes échelles, de modèles de structure forestière avec les modèles physiques simulant la diffusion d'un signal électromagnétique (de l'optique aux micro-ondes) est nécessaire.

Dans le cas des forêts tropicales, ce couplage repose sur la capacité à construire des maquettes de structures 3-D des peuplements forestiers « écologiquement » réalistes pour simuler leurs signatures électromagnétiques.

Grâce à cette modélisation, on peut espérer, par exemple, relier formellement des indices de texture à une distribution d'objets structuraux (couronnes d'arbres, trouées), ou relier la pénétration d'un signal à la stratification verticale de la végétation. Réciproquement, une meilleure compréhension des signatures électromagnétiques des forêts tropicales permettra d'améliorer les modèles de dynamique forestière.

0.1. PROBLEMATIQUE.

L'augmentation de la population de la planète, les changements climatiques (IPCC et al, 2007), l'émergence ou la réémergence de certaines maladies, la baisse prévisible des ressources en énergies fossiles, la perte de la biodiversité (Chapin et al, 2000) engendrée par certaines activités anthropiques, sont des évolutions auxquelles nos sociétés doivent se préparer.

La recherche a un important rôle à jouer dans cette préparation, d'abord par une évaluation quantitative (Polasky et al, 2005) de ces évolutions à travers de multiples formes de mesures, ensuite par une étude qualitative et cognitive pour essayer de comprendre les phénomènes et en estimer les conséquences (Seabloom et Van der Valk, 2003), et enfin par la diffusion de ces connaissances pour aider à la prise de conscience et à l'éclairage de la prise de décision.

L'étude des paysages, de leur composition, de leurs structures spatiales et fonctionnelles, de leurs réactions face aux aléas climatiques, de leurs liens avec les activités humaines, mais aussi la modélisation de leur dynamique, sont des moyens de travailler sur ces questions, en particulier parce qu'ils combinent une prise en compte de l'espace, une vision systémique, et une approche nécessairement pluridisciplinaire.

Ces trois aspects sont en effet au cœur de nombreux enjeux que nous venons d'exposer.

Comment adapter l'exploitation durable des forêts tout en atténuant les effets dus aux changements climatiques ? C'est à ce défi qu'est aujourd'hui confrontée la recherche en foresterie.

Cela demande la gestion de tout un ensemble de pratiques sur un territoire qui nécessite une vision systémique, pluridisciplinaire et spatialisée des outils d'exploitation forestière.

Cette évolution de la Foresterie dépasse d'ailleurs l'aspect purement productif pour s'intégrer dans le cadre plus large de la gestion des espaces ruraux, avec en particulier une évaluation des systèmes de production par rapport à des services environnementaux auxquels ils peuvent contribuer.

Les recherches en écologie du paysage ont montré à de nombreuses reprises à quel point le biotope de certaines espèces vivantes est dépendant des structures spatiales du paysage, comme la position de ses constituants, les structures topologiques que cela forme, les possibilités de déplacement, les distances, les frontières ou encore le caractère plus ou moins fragment des écosystèmes qu'il abrite (Burel et Baudry, 1999). L'étude de la dynamique de ces caractéristiques paysagères est essentielle pour évaluer les risques d'atteinte à la biodiversité.

Leur modélisation permet de chercher des compromis entre développement économique et protection de l'environnement et de la biodiversité, dans l'accompagnement de projets de développement territoriaux (Sigwalt et al., 2010). La modélisation des paysages peut ainsi participer à la mise en place de systèmes d'alerte précoce (Propeck - Zimmermann et al, 2007).

Dans la plupart des domaines de recherche, la démarche expérimentale sur les paysages in- vivo est particulièrement difficile et même souvent impossible.

Nous sommes dans ce cas contraints de nous tourner vers la modélisation et la simulation pour tenter d'estimer les conséquences possibles de certains phénomènes naturels (Veyret, 2004), des perturbations dues à l'activité humaine, ou de l'application de politiques forestières.

Avec l'avènement de l'informatique et de la disponibilité des capacités de calculs électroniques très importantes que cette discipline qui étudie les systèmes complexes a pu se développer. Notre incapacité à acquérir la connaissance de tels systèmes par le calcul analytique nous oblige en effet à faire appel à la simulation (Degenne et Lo Seen, 2010).

Pour connaître l'état du système à un moment donné, on est contraint de calculer les états successifs précédents. Cela revient à décrire des règles d'interactions élémentaires entre des éléments représentant des parties d'un système et à faire calculer par un ordinateur la façon dont le système évolue par étapes successives. On fait donc appel à des représentations abstraites d'un système : les modèles, et en particulier ceux dédiés à la simulation (Poirion et al, 2012).

Le terme modèle est suffisamment polysémique pour mériter d'être défini dans le contexte de notre travail et nous avons choisi de retenir deux définitions dont les mots clés font sens pour notre problématique :

1. Description d'un phénomène (ou d'un système), que l'on construit dans un but précis.
2. Toute structure qu'une personne peut utiliser pour simuler ou anticiper le comportement de quelque chose d'autre.

Dans la première définition nous voulons insister sur l'idée de construction d'une description, qui nous indique qu'un modèle est une forme de représentation que l'on fabrique intentionnellement. Lorsque nous allons parler de modélisation c'est bien à une activité de création que nous ferons référence. Ce premier aspect exprime la nature descriptive de la modélisation et l'on peut pour certaines problématiques s'en tenir à une modélisation descriptive.

La deuxième définition complète la première en précisant l'intention : simuler ou anticiper un comportement.

Nos travaux sont en effet destinés à la construction des modèles destinés à la simulation de phénomènes que l'on cherche à connaître, à comprendre, à expliquer (Legay, 2006). Cet aspect prédictif de la modélisation est particulièrement utile pour étudier des systèmes pour lesquels la réalisation d'expériences sur le système lui-même s'avère difficile, voire impossible. C'est le cas des études sur l'évolution des paysages (Peng, 2000), des systèmes écologiques et environnementaux qui constituent le contexte dans lequel nous travaillons.

0. 2. INTERET DU TRAVAIL

Le présent travail présente un intérêt dans la mesure où il nous permet d'en déduire la cartographie des essences à chenilles se trouvant dans l'île Kongolo avec un échantillonnage et de calculer le taux de déperdition de ces essences suite au changement climatique provoqué par les actions anthropiques.

0.3. HYPOTHESES

En vue de définir les nouveaux modes de gestion durable de l'espace rural de l'île Kongolo, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- La cartographie dans l'île Kongolo renfermant des essences à chenilles est dressée ;

- L'indice de végétation de la ville de Kisangani permet d'apprécier le taux de déperdition des essences à chenilles comestibles suite aux actions anthropiques ;

- L'équation de modélisation spatiale rend compte du stockage du carbone dans les essences à chenilles comestibles dans l'île Kongolo ;

0.4. OBJECTIFS

0.4.1. Objectif général

Contribuer la gestion rationnelle des ressources naturelles par la spatialisation des essences à chenilles comestibles dans l'île Kongolo.

0.4.2. Objectifs spécifiques

- Esquisser la cartographie dans l'île Kongo renfermant des essences à chenilles ;
- Evaluer grâce à l'indice de la végétation le taux de déperdition des essences à chenilles comestibles suite aux actions anthropiques ;
- Etablir l'équation de modélisation spatiale qui rend compte du stockage du carbone dans les essences à chenilles comestibles dans l'île Kongolo.

0.5. SUBDIVISION DU TRAVAIL

Outre l'introduction et la conclusion, ce travail comprend quatre chapitres structurés comme suit :

- Le premier chapitre traite de la revue de la Littérature ;
- Le deuxième chapitre aborde les Matériels et méthodes ;
- Le troisième chapitre présente les résultats ;
- Le quatrième chapitre discute les résultats.

plus précisément des phénomènes locaux et/ou atypiques.

CHAPITRE PREMIER : REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1. GENERALITES SUR LA MODELISATION SAPTAILE

1.1.1. Concepts de modélisation spatiale

La démarche de modélisation se retrouve au cœur de l'étude de nombreuses questions importantes auxquelles nos sociétés actuelles sont confrontées. Qu'il s'agisse de l'émergence et de la diffusion de maladies liées à de nouvelles conditions environnementales, des transformations rapides des espaces périurbains, ou encore de la dégradation des écosystèmes naturels et de la perte de biodiversité, il est nécessaire de bien comprendre avant d'agir. Pour un problème donné, quels sont les éléments clés qui composent le paysage ? Comment interagissent-ils ? Comment le paysage fonctionne-t-il et évolue-t-il en tant que système ? L'étude de tels systèmes ne pouvant la plupart du temps faire l'objet d'expérimentation en grandeur nature, s'appuie de façon privilégiée sur la modélisation informatique, même si elle reste confrontée aux problèmes de représentation de l'espace, de gestion du temps et des multiples échelles spatiales et temporelles (Degenne et Lo Seen, 2010).

La modélisation, en géographie, produit des modèles spatiaux. Les modèles, basés majoritairement sur des méthodes de statistiques spatiales, sont des représentations schématiques de réalités matérielles ou immatérielles.

Les modèles des géographes sont largement utilisés pour faire ressortir les schémas généraux d'organisation de phénomènes divers dans l'espace et ainsi mieux les percevoir (Brunet, 2000). L'étude des observations qui s'écartent du modèle général (les résidus) permet d'identifier et d'étudier plus précisément des phénomènes locaux et/ou atypiques.

« Modéliser c'est décider ». J-L Le Moigne (2000) fait remarquer à juste titre à quel point celui qui construit un modèle (le modélisateur) dispose d'une grande liberté créatrice. Il nous faut garder à l'esprit que pour un même objet ou système étudié, de nombreux modèles peuvent être conçus. Chacun dépendra de l'intention, de la finalité recherchée, voire même de l'expérience et l'état d'esprit du modélisateur. L'exercice de modélisation implique donc des choix sur le contenu du modèle lui-même : "décider des aspects du monde qui doivent être décrits dans le modèle et ceux qui doivent être délibérément ignorés."

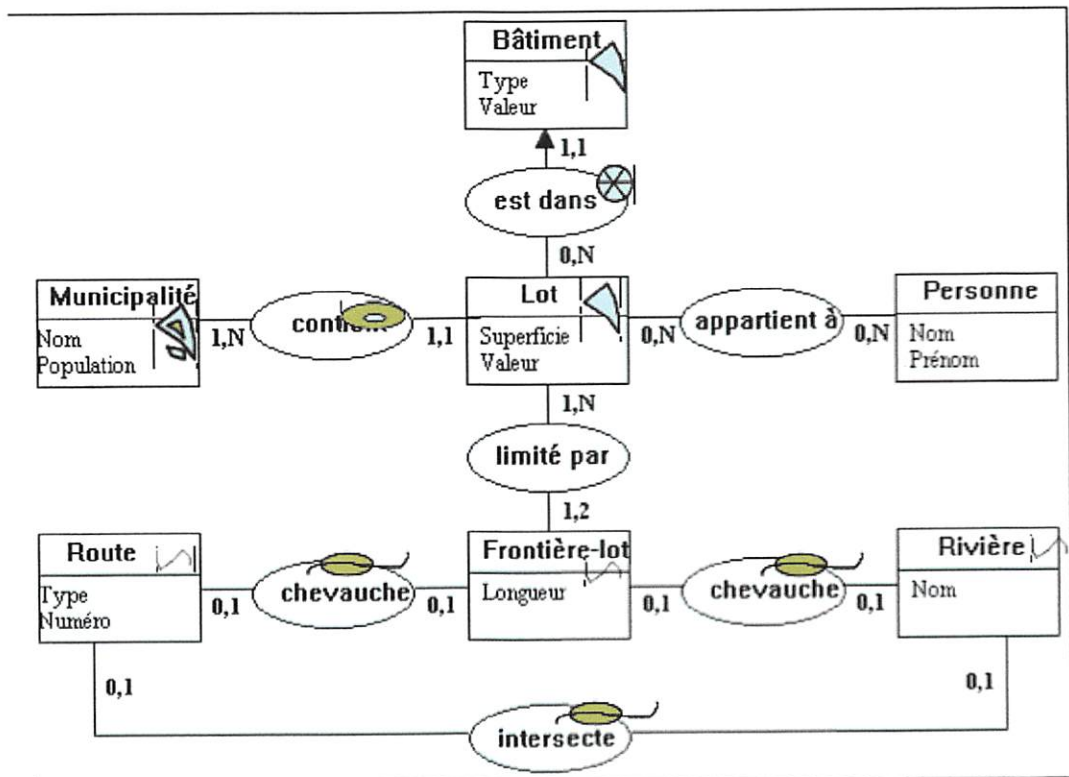
Aujourd'hui, des bases des données, parfois volumineuses, peuvent être exploitées grâce aux outils numériques qui permettent d'en extraire les caractéristiques spatiales pour les analyser et les interpréter. La modélisation des phénomènes est aussi à la source de recherches interdisciplinaires intéressantes comme en épidémiologie, en criminologie, etc.

La spatialisation des données issues de ces domaines de recherche et l'étude des modèles sous-jacents sont possibles grâce aux méthodes de modélisation spatiale. L'appréhension de l'espace conduit à choisir le mode de représentation des objets que l'on perçoit en unités d'observations ponctuelles, linéaires ou surfaciques, simples ou complexes.

Les modèles conceptuels des données (MCD) issus du monde des bases de données classiques ne nous permettent pas de préciser la spatialité des objets. Depuis plusieurs années, des chercheurs développent des concepts qui étendent les modèles en permettant de prendre en compte la spatialité des objets lors de la modélisation. Notamment ils intègrent des types d'objets spécifiques appelés TAD spatiaux.

Ainsi en construisant le schéma d'une application, on peut modéliser l'appartenance des bâtiments à une classe surfacique par exemple ; Ou percevoir les villes comme un objet géographique complexe composé d'objets linéaires tels que les rues, des surfaciques tels que les bâtiments ou les parcs et des points tels que les stations de métro. La figure 1 présente les différents TAD proposés par le modèle MADDS (modèle ER étendu aux données spatiales). Les MCD (modèle conceptuel des données) issus du monde des bases de données classiques ne nous permettent pas de préciser la spatialité des objets. Depuis plusieurs années, des chercheurs développent des concepts qui étendent les modèles en permettant de prendre en compte la spatialité des objets lors de la modélisation. Notamment ils intègrent des types d'objets spécifiques appelés TAD spatiaux. (EUNGI, 2014).

Figure 1 : Exemple de schéma conceptuel



1.1.1.1. Points de vue sur le paysage

Le paysage peut être considéré comme une partie de territoire que l'on observe, comme un espace que l'on peut façonner, et gérer, ou encore comme un phénomène qu'il est possible d'étudier avec méthode, dans sa structure, ses interactions, sa dynamique ; dans tous les cas le paysage est indissociable d'un certain point de vue, implicite ou délibéré (Reffye et al, 1999).

Le point de vue de l'architecte et du paysagiste sera sans doute plus technique, avec un souci d'intégration du paysage construit dans le cadre environnant, et aussi une vision davantage dynamique de la façon dont ce paysage va évoluer dans le temps (Peng, 2000).

Le scientifique s'intéressera plutôt au paysage-phénomène, qui se prête à l'analyse méthodologique, rigoureuse, mais qui n'échappe pourtant pas à la nécessité d'un point de vue : celui de l'objectif recherché par cette analyse et celui de sa discipline scientifique.

Le paysage étudié par un géographe, à travers par exemple les interactions entre société et territoire, a toutes les chances d'être fort différent du paysage étudié par un écologiste ou un par un hydrologue en un même lieu.

Chaque discipline distinguera des éléments relatifs à sa propre problématique, qu'il s'agisse des constituants dotés d'une extension spatiale ou des flux de matière ou d'informations entre ces constituants.

Au-delà de l'analyse, c'est la construction de modèles de paysages et de leur dynamique qui fait l'objet de nos travaux. Or, nous venons de le voir, l'exercice de modélisation présente un aspect délibérément créatif, ce qui implique le choix conscient et si possible argumenté d'un point de vue particulier sur le paysage en tant que système.

Ce choix dépendra de la discipline scientifique mais aussi et surtout de l'intention à l'origine de la modélisation : que cherche-t-on à simuler ? et dans quel but ? Cette intention est propre à chaque projet, à chaque étude, et nous devons essayer de rendre nos outils de modélisation aussi adaptables que possible pour qu'il y ait adéquation entre l'intention et les moyens.

L'écologie du paysage, s'oriente vers une étude systématique des relations entre les espèces vivantes et les structures spatiales des milieux dans lesquelles elles vivent. Le paysage possède, selon ce point de vue, des structures et des fonctions. Les structures sont constituées de communautés ou d'espèces formant des taches possédant des caractères homogènes qu'il est possible de distinguer de leur environnement. Ces taches présentent des caractéristiques spatiales mesurables telles que la taille, la forme, leur nombre, leur distribution dans un environnement (Goreaud et al, 1999).

La recherche en écologie du paysage a fait évoluer la compréhension des causes et conséquences des hétérogénéités spatiales, leur dépendance vis-à-vis de l'échelle d'étude a influencé les pratiques en matière de gestion du territoire.

Les liens entre structuration du paysage et processus écologiques restent depuis longtemps au centre des questions de recherche en écologie du paysage, et les modèles de simulation sont des outils privilégiés pour étudier ces questions.



L'écologie du paysage met donc l'accent sur les interactions spatialisées dans les systèmes écologiques. Nous retrouvons la nécessité de prendre en compte des relations de diverses natures et de les combiner. Nous retenons aussi l'importance de l'échelle pour l'analyse et la modélisation des structures spatiales, ainsi que des liens entre processus décrits à différentes échelles. La connectivité des habitats, les corridors, les frontières (en tant que limite ou en tant que filtre), sont des aspects importants à prendre en compte pour la modélisation des paysages. Les réseaux de circulation que ces structures constituent sont en effet d'un haut intérêt pour les enjeux de conservation des espèces.

Notons que l'on trouve ici aussi cet effet rétroactif des dynamiques paysagères : la répartition des espèces contribue à structurer le paysage, et les structures spatiales qui en découlent agissent à leur tour sur la distribution des espèces. La géographie et l'écologie du paysage sont sans doute les deux domaines dans lesquels les dynamiques paysagères ont été le plus étudiées.

Bien d'autres domaines sont cependant concernés par le sujet, et même si le paysage n'est pas au centre de leurs problématiques, les besoins en outils d'analyse, de modélisation et de simulation sont très importants. C'est le cas par exemple des dynamiques forestières, des dynamiques côtières, de diverses questions relatives à la biodiversité, et de manière plus générale de nombreuses questions environnementales comme les conséquences de l'évolution du climat sur l'agriculture (Graux, 2011).

1.2. APERCU SUR LES TECHNIQUES D'INFORMATION SPATIALE

1.2.1. Introduction sur la télédétection spatiale (remote sensing)

La télédétection est l'acquisition d'informations sans contact direct avec la source de l'information. Elle est plus sollicitée avec l'accroissement des besoins en informations géographiques dans les services militaires comme civils. Le très connu Google Earth n'existerait pas sans les images satellites de haute résolution des satellites tels que Geo Eye. Les images aériennes font partie des composantes très connues de la télédétection parce que bien visible et compréhensible pour la plupart des utilisateurs. Cependant, la télédétection opère dans le domaine de la bande visible et de l'infrarouge proche et lointain en hyper fréquence.

Rappel de définition : Le mot « télédétection » désigne l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci (Source : Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988).

On s'intéresse ici plus précisément à la télédétection aérospatiale, soit à l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre en utilisant les propriétés du rayonnement électromagnétique émis, réfléchi ou diffusé par les corps ou surfaces étudiés. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente. (Source : Centre Canadien de Télédétection : <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>).

Trois domaines spectraux sont particulièrement exploités en télédétection :

- Le domaine du visible ;
- Le domaine des infrarouges (comprenant le proche infrarouge, le moyen infrarouge et l'infrarouge thermique) ;
- Le domaine des micro-ondes (ou hyperfréquences).

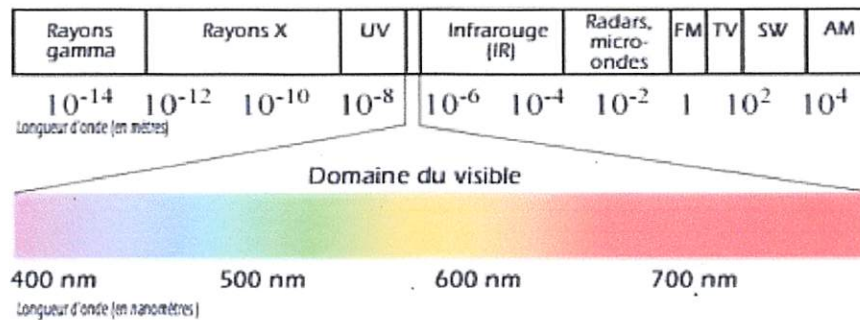


Figure 2. Composition du spectre électromagnétique

La télédétection fournit de nombreux outils opérationnels : photos aériennes, images numériques multi spectrales à différentes résolutions spatiales, imagerie hyper spectrale, données radar, données géophysiques. La télédétection est une source importante des données utilisées dans le SIG.

1.2.2. Importance de la télédétection dans la gestion forestière

La gestion forestière passe avant tout par l'inventaire et la cartographie du domaine forestier. Pour le suivi de la dynamique forestière, l'utilité de la télédétection s'impose car elle permet le suivi continu de la dynamique de la forêt à travers la détection des différentes modifications forestières dues aux facteurs naturels et anthropiques (feux de brousses, coupes, reboisements etc.) par l'utilisation des images satellitaires. Ces images satellitaires permettent une vision globale sur le domaine forestier et grâce à elles, on peut détecter les modes d'occupation du sol des unités d'aménagement composant la forêt d'une part et d'autre part, l'état de santé du peuplement végétal.

1.2.3. Apport de la télédétection pour la connaissance des enjeux environnementaux

Dans le domaine environnemental, les techniques applicables par les acteurs locaux sont rares et présentent peu d'intérêt sur le territoire du Nord. Ainsi, l'indice NDVI (Normalize Difference Index) permet de suivre l'activité chlorophyllienne des végétaux, par le biais de la réflectance dans le rouge et dans le proche infrarouge. Toutefois, sur le territoire restreint de la région Nord – Pas – de Calais, le calcul d'indice de végétation est sans intérêt, la cartographie des espaces naturelles étant déjà assurée par ailleurs. L'intérêt des données infrarouge, LIDAR, RADAR, sont encore méconnues des acteurs locaux. Les données sont disponibles mais leur exploitation reste limitée.

Une application de SIG mobile (par exemple technologie Field-Map), sur un ordinateur de terrain permet d'effectuer les études d'impact en environnement (et la cartographie et la collecte des données) directement sur le terrain, qui augmente la productivité et la qualité du résultat. (EUNGI, 2014).

L'étude d'impact environnemental est un instrument de planification et de recherche qui prend en considération l'ensemble des facteurs environnementaux, d'un point de vue physique, biologique, et humain. L'étude d'impact considère également les intérêts des différents partis en vue d'éclairer les prises de décision pour une gestion de l'environnement.

1.2.4. Définition du concept : système d'information géographique (SIG)

Il existe de nombreuses définitions d'un Système d'Information Géographique (SIG). Très simplement un SIG est un outil informatique qui permet d'intégrer, de localiser, d'analyser et de représenter des données qui ont ou non une dimension géographique.

1.2.4.1. Les 5 composantes majeures

Pour fonctionner, le SIG a besoin des éléments suivants :

- Les personnes : c'est l'élément le plus important dans un SIG. Les personnes doivent définir les traitements et développer les procédures d'exploitation ;
- La disponibilité et l'exactitude des données : elles conditionnent les possibilités d'interrogation et d'analyse ;
- Les logiciels : on entend par là les SIG, mais aussi les logiciels de base de données, de dessin, de statistiques, d'imagerie ou d'applications spécifiques ;
- Le matériel : Les capacités du matériel conditionnent la rapidité d'exploitation, la facilité d'utilisation et le type de sortie des données possibles.

– Les procédures de traitement de l'information : la mise en place d'un SIG suppose l'application de certaines règles et procédures. L'information géographique peut être définie comme étant la représentation de la réalité localisée dans le temps et dans l'espace. Elle possède deux composantes :

- Les données spatiales et
- Les données attributaires.

Les données spatiales représentent des objets géographiques associés à leur localisation dans le monde réel. Elles sont représentées sur les cartes par des points, des lignes et des polygones. Les données attributaires décrivent des propriétés particulières des objets géographiques, telles que le N° d'une parcelle, le nom d'une route.

1.3. INDICES DE VEGETATION

Le comportement spectral très particulier de la végétation et le contraste important entre la période végétative et de repos a donné naissance à une grande quantité d'indices de végétation visant à mesurer ce contraste. Ces indices sont calculés par des opérations mathématiques entre bandes spectrales, le plus souvent le canal R et le PIR.

Ces indices permettent de mesurer le développement et l'état de santé de la végétation. Au cours des dernières décennies, les chercheurs ont développé des indices plus sensibles à la végétation et moins sensibles aux effets perturbateurs. Les indices n'ont néanmoins pas encore éliminé l'entière de ces derniers en raison de la complexité des facteurs les produisant. Le nombre d'indices de végétation construit à ce jour est très élevé et ne semble être limité que par l'imagination de ses inventeurs (Mather, 1987).

Dans le cadre de notre étude nous avons utilisé le NDVI qui est un indice intrinsèque qui prend en compte la réflectance spectrale mesurée au capteur.

Le *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Rouse et al (1974) ont amélioré le RVI en définissant le "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) ou la différence normalisée. NDVI : Normalized Difference Vegetation Index $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$ Le NDVI et le RVI peuvent s'exprimer explicitement l'un en fonction de l'autre :

$$NDVI = (RVI - 1) / (1 + RVI) = (\tan(\alpha) - 1) / (\tan(\alpha) + 1) = \tan(\alpha - 45^\circ).$$

1.3. GENERALITES SUR LES ARBRES A CHENILLES COMESTIBLES

1.3.1. Arbres à chenilles comestibles

La forêt est depuis fort longtemps reconnue comme étant une source de biens et de services nécessaires à l'homme pour sa survie. Cela peut être de manière directe à travers la récolte de bois de feu ou bois d'œuvre, viande de brousse, légumes et de nombreux matériaux de construction ainsi que d'objets utilisés lors de cérémonies culturelles. Cela peut également être de manière indirecte puisque l'homme récolte ces ressources afin de les commercialiser et d'en obtenir des moyens financiers de subsistance et d'épanouissement social.

Durant des décennies, l'attention de ceux qui ont géré les forêts tropicales, que ce soit les Etats ou les populations rurales, s'est focalisée sur le bois en tant que source de revenus et sur le gibier comme source d'alimentation et de revenus. Désormais, il est de plus en plus question de diversifier les sources procurant des aliments et des revenus.

Les ressources forestières non ligneuses autres que le gibier sont reconnues comme améliorant considérablement les conditions de vie des populations rurales et les économies rurales et périurbaines. Au cours de ces 10 dernières années, ces ressources ont fait l'objet d'innombrables travaux de recherche. Cependant, la quasi-totalité s'est préoccupée des produits ligneux tels que *Gnetum africanum*, *Pausynistalia yohime*, *Ricinodendron heudelotti*, *Irvingia* spp., etc., en oubliant les ressources telles que les insectes, les gastéropodes, les oiseaux, etc. Celles-ci jouent pourtant un rôle important dans l'alimentation de certaines populations rurales et peuvent générer des revenus.



Figure 3. *Petersianthus angolensis*, hôte des chenilles comestibles

Il existe à ce jour très peu de connaissances sur la nature et l'importance de ces ressources. Les espèces consommées, les techniques de récolte et de commercialisation ou leur apport dans la lutte contre la pauvreté et la malnutrition ne sont pas non plus connues de manière exacte. Il est impossible actuellement de quantifier la consommation et encore moins d'évaluer la durabilité des récoltes, de la commercialisation et consommation de ces ressources.

1.3.2. Chenilles comestibles

1.3.2.1. Cycle Biologique

Quatre étapes distinctes caractérisent le cycle biologique de Lépidoptères :

1°). L'œuf : déposé par les papillons femelles sur un arbre particulier, on peut observer les œufs sur les nouvelles pousses d'un arbre sous forme des petites pertes blanches ;

2°). La Chenille : c'est la larve obtenue après éclosion. La consommation des feuilles est l'activité principale de celle-ci et détermine son devenir. On peut avoir entre 4 à 6 stades larvaires séparés par des mues successives ;

3°). La Chrysalide : la larve devenu adulte, elle descend de son arbre pour se transformer en chrysalide dans le sol. Elle ne nourrit plus. Il s'agit d'un état où s'opèrent d'importants remaniements internes pour l'apparition des organes de papillon.

4°). L'imago : c'est le papillon, il représente la phase de reproduction et de dispersion de l'espèce.

La durée de chaque phase du cycle varie en fonction de l'espèce considérée, voire des conditions climatiques dans lesquelles celles-ci évolue. Les œufs éclosent au bout d'une ou quatre semaines ; c'est la durée de la phase nymphale qui est la plus longue et variable (CARTER et HARGREAVES op.cit). La quasi-totalité des espèces consommées sont univolténes ; c'est-à-dire elles présentent une génération par an. Ce qui précise une période bien caractéristique de la récolte.

5°). Récolte

La plupart des chenilles de la région vivent sur les arbres en forêt et augmentent ainsi par leur présence la valeur de la jachère traditionnelle. Dans son travail préliminaire aux environs de Kisangani, LISINGO, a analysé trois types de récolte des chenilles comestibles. Le ramassage au sol (55%), l'abattage des arbres hôtes (28%) et le ramassage sur les branches, tronc et les feuilles (16,6%).

Dans la Province de la TSHOPO, les populations aménagent tout autour de la circonférence des cimes des arbres au niveau du sol, des rigoles dans lesquelles les chenilles échouent après leur marche au sol. Cette technique permet le ramassage rapide (temps record) et en grande quantité des chenilles lors de leurs différentes expéditions forestières de quelques jours. (Exemple *Anaphe panda* et *Imbrasia epinethea*...).

CHAPITRE DEUXIEME : MATERIELS ET METHODES

Le présent chapitre nous donnera une vue synoptique de la zone d'étude, sa localisation, ses délimitations ainsi que quelques-unes de ses caractéristiques. Il nous présentera ensuite les matériels qui nous ont servis pour la réalisation de ce travail y compris les méthodes et techniques utilisés pour y aboutir.

II.1. MILIEU D'ETUDE

Le sanctuaire forestier de l'île Kongolo appartenait, selon les sources locales, aux ancêtres Turumbu. Depuis toujours, c'est un espace forestier inhabité qui, au courant de l'année 1978 a été consacré à la recherche scientifique sous la gestion de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani. Toutefois, deux villages se sont installés à ses extrémités. Du côté de Kisangani, se trouve le village Linoko habité par une population allochtone Lokele venu de Yaokandja. A l'opposé, est érigé le village Yelenge habité par la population autochtone Yelenge.

2.1.1. Situation Géographique et Administrative

L'île Kongolo (0°37' N, 25°11' E, 390 m) localisée à la confluence de deux branches de la rivière Lindi avec le fleuve Congo compte parmi les ilots forestiers de Kisangani. Elle est située à environ 17 km au nord-ouest de la ville de Kisangani (Province de la Tshopo) en République Démocratique du Congo. Elle a une superficie d'environ 100 ha (MOSANGO, 1990).

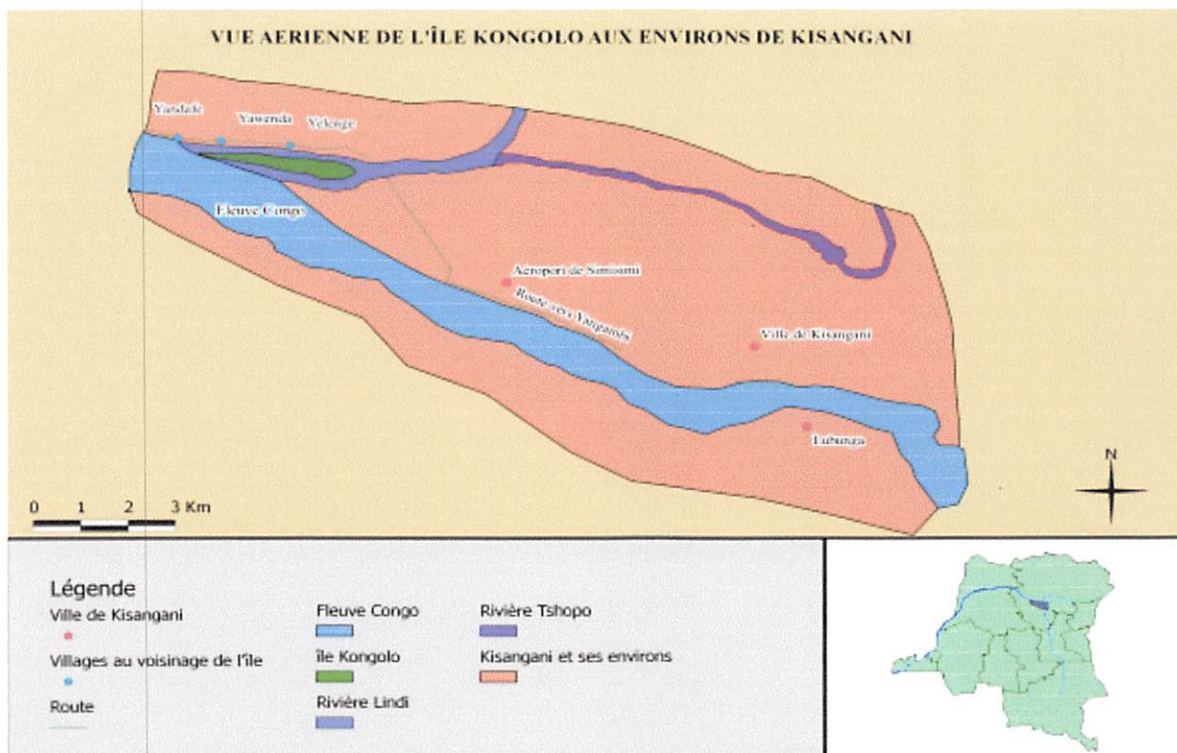


Figure 4. Localisation de l'île Kongolo en R.D.Congo

2.1.2. Situation climatique

Située près de l'Equateur, la région de Kisangani incluant le sanctuaire forestier de l'île Kongolo bénéficie d'un climat équatorial chaud et humide du type Af dans la classification de Köppen.

Les données climatiques de la ville de Kisangani durant l'année 2015 sont reprises au tableau 1.

Tableau 1. Données climatiques de la ville de Kisangani en 2015

Mois	Jan v	Fév	Mar s	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep t	Oct	Nov	Déc
Précipitations (en mm)	78	105	167	181	158	124	117	171	176	230	195	100
Température (°C) min	20,5	20,5	20,8	21,2	20,9	20,6	20,0	20,3	20,2	20,4	20,6	20,4
Température (°C) max	30,7	31,2	31,2	31,1	30,6	29,8	28,9	28,7	29,7	29,9	30,0	29,9

(Source: Service Météorologique, ville de Kisangani)

2.1.3. Sol

D'après les conditions de milieu et la pédogénèse, on peut ranger les sols étudiés dans la catégorie des ferral sols (classification FAO - UNESCO), notamment Hygro FERRAL SOL, jaune d'après la classification INEAC (Sys, 1972) et Haplic FERRALSOL (Dystric, Xanthic) d'après la classification WRB (2006). Il s'agit des sols ferralitiques des zones intertropicales. Ils présentent un horizon oxic (moins de 10% des minéraux altérables dans la fraction 50-200 μm , présence des sesquioxydes du type Fe_2O_3 ou Al_2O_3 , capacité d'échange de moins de 16 cmol (+) par kg d'argile) (Baize et Girard, 2008).

La région jouit d'un climat de type Af selon Koppen, avec absence de mois sec où le double de la température mensuelle est supérieur ou égale à la précipitation. Cette région est caractérisée par des anciens sols ferrallitiques. Les sols hydromorphes (Gleysols) plus fertiles n'occupent que les zones alluviales du fleuve Congo et ses affluents.

2.1.4. Végétation

Les forêts de l'île Kongolo sont réparties en deux types selon les substrats : les forêts de terre ferme et les forêts inondables, qui présentent entre-elles des différences dans leur composition floristique et structurale (Amani et al, 2011).

En ce qui concerne l'inventaire floristique, elle est constituée d'une forêt primaire, d'une forêt secondaire et d'une forêt semi-caducifoliée.

La Forêt primaire à *Piptadeniastrum africanum* et *Celtis mildbraedii* comprend 320 espèces de Trachéophytes dénombrées par MOSANGO (1990). Les familles les mieux représentées sont les Rubiaceae, Euphorbiaceae, Moraceae, Meliaceae, Sterculiaceae, Fabaceae et Menispermaceae, les espèces dominantes étant *Piptadeniastrum africanum* et *Celtis mildbraedii*. L'on inventorie également d'autres espèces d'arbres comme *Petersianthus macrocarpus*, *Isolona thonneri*, *Antiaris toxicaria*, *Hannoa klaineana*, *Trichilia welwitschii*, *Trichilia prieuriana*, *Anonidium mannii*, *Tabernaemontana crassa*, *Pycnanthus angolensis*, *Guarea cedrata*, *Anthonotha macrophylla* (Amani et al, 2011).

La Forêt secondaire couvrant un quart de la superficie de l'île a comme espèces dominantes : *Musanga cecropioides* en forêt secondaire jeune ; *Zanthoxylum gillettii*, *Pycnanthus angolensis*, *Petersianthus macrocarpus* et *Trilepisium madagascariensis* en forêt secondaire âgée.

Amuri (1979) a inventorié 254 espèces de plantes vasculaires en forêt secondaire jeune et 267 espèces en forêt secondaire âgée.

Comme autres espèces d'arbres on peut citer *Antiaris toxicaria*, *Tetrapleura tetraptera*, *Milicia excelsa*, *Heisteria parvifolia*, *Pentaclethra macrophylla*, *Tabernaemontana crassa*, *Anthonotha macrophylla*, etc.

La forêt semi-caducifoliée de l'île Kongolo a comme espèces dominantes : *Piptadeniastrum africanum* et *Celtis mildbraedii*.

II.2. MATERIELS

2.2.1. Matériels biologiques

Les matériels biologiques sont constitués de toutes les espèces à chenilles identifiées :

- ✚ *Petersianthus angolensis* ;
- ✚ *Symphonia globulifera* ;
- ✚ *Pycnanthus angolensis* ;
- ✚ *Ricinodendro heudeleuti* ;
- ✚ *Erytrophleum suaveolens*.

2.2.2. Matériels non biologiques

Comme matériels non biologiques, nous nous sommes servis d' :

- Un GPS : pour la prise des différentes coordonnées ;
- Un ruban circonférentiel : pour prendre la circonférence des arbres ;
- Un appareil photo numérique : pour la prise des photos ;
- Un bloc note et stylo : pour noter les coordonnées, les noms des espèces, la hauteur et le DHp ;
- Une machette : pour dégager la base des certains arbres ;
- Un relascoppe de Bitterlish pour prendre les mesures de la hauteur et de Dh.

2.2.2.1. Images satellites

- ✓ Images SRTM (courbes de niveau) de l'île Kongolo ;
- ✓ Images Landsat de la ville de Kisangani pour le calcul d'indice de végétation.

Ces images satellites (SRTM et LANDSAT), ont été obtenues au laboratoire de l'Observatoire Spatial des Ressources Naturelles et du Climat (ORSNAC) à Kinshasa par l'entremise du Professeur Albert KABASELE.

2.1.2. Logiciels

- Arc Gis 9.3 : Images
- Maps source : Données GPS
- Idrissi
- QGIS 2.6.

II.3. METHODES

2.3.1. Récolte des données sur terrain

Les coordonnées géographiques au début et à la fin de l'île ont été prélevées à l'aide d'un GPS afin d'obtenir des positions géo-référenciées. A travers un transect, nous avons procédé à l'inventaire des essences à chenilles notamment sur *Petersianthus angolensis*, *Pycnanthus angolensis*, *Ricinodendron heudelotii*, *Erythrophleum suaveolens* sur les lesquels nous avons prélevé le diamètre, la hauteur, et les coordonnées géographiques.

Nous avons ensuite procédé au traitement des images satellitaires, des données pluviométriques. L'exploitation des logiciels nous a permis enfin d'opérer le traitement des données.



Figure 5. Image de terrain montrant le prélèvement des coordonnées géographiques.

Le GPS seul nous a permis uniquement d'obtenir une position géo référencée. Un terminal (Smartphone, Pocket PC, tablette, PC portable ...) équipé d'un GPS et d'un logiciel adapté permet de récolter des données.

Le choix de campagne allométrique a été effectuée espèce par espèce en déterminant les trois variables explicatives à savoir le diamètre, la hauteur et la densité du bois.

Le diamètre à hauteur de poitrine (dBH) a été mesuré à 1.30m pour tous les arbres de dBH >5cm. La hauteur a été mesurée pour tous les individus ≤ 3 m ; avec l'ombre portée occupant au moins 30 % du volume de la canopée. Pour l'obtention de la densité de bois, le séchage a été effectué d'une façon naturelle et artificielle.

Pour ce faire les échantillons de bois ont été pesés de façon à mesurer leur masse fraîche (M_s). Ils ont ensuite été séchés pendant deux semaines à l'étuve à 65°C jusqu'à poids constant afin de déterminer leur masse sèche (M_o). L'intérêt est de travailler avec les morceaux cubiques de bois dont les volumes sont bien géométriquement connus, avant et après séchage, cylindrique ou parallélépipédique.



Figure 6. Photos des prises des densités à l'aide d'un four

La masse volumique (densité basique avec le volume état vert) a été déterminée de la manière suivante :

$$\rho = \frac{M_o}{V_o} \text{ (exprimé en gramme par cm}^3\text{)}$$

Où

M_o est la masse à l'état sec, en grammes ;

V_o est le volume à l'état sec ou vert (exprimé en cm^3), pour une teneur en eau $H_o = 0\%$, et ρ (ρ_o), la masse volumique de l'échantillon de bois.

Avec :

$$M = \rho \cdot V$$

$$M = \rho \pi R^2 H$$

$$M = \rho \pi \frac{D^2}{4} H$$

$$M = M(\rho, D, H)$$

$$\rho = M/V$$

$$\rho_s = \rho_o - \rho_s$$

Avec

ρ_s la densité du bois à l'état sec et ρ_o à l'état humide

$$M = a\rho_s + b(dbh) + cH_p + K$$

Avec

abck : coefficient indéterminé

La teneur en eau du bois est dans ce cas le rapport entre la masse de l'eau et la masse du bois à l'état sec :

$$H_o \% = \left[\frac{M_s - M_o}{M_o} \right] \times 100$$

Où H_o est la teneur en eau exprimée en pourcentage, M_o la masse sec, M_s la masse humide.

La méthode de pesée hydrostatique utilisée s'inspire théoriquement de celle développée par Rondeux (1999). En pratique, nous avons utilisé la variante de la pesée hydrostatique (méthode de déplacement d'eau) indiquée par Vieilledent et al. (2012). Cette variante est une technique de pesée directe et recourt à l'usage d'une ficelle tendue, de volume négligeable, qui permet de maintenir l'échantillon sous l'eau (Vieilledent, et al., 2012) sans passer par un panier ou une masse de plomb (Rondeux, 1999) et tout en évitant que l'échantillon et la ficelle ne touchent les bords.

Pour éviter les mouvements du bois dans l'eau, le bout d'une seringue et une ficelle vont servir à stabiliser l'échantillon.

La photo suivante (Figure 7) illustre cette technique.

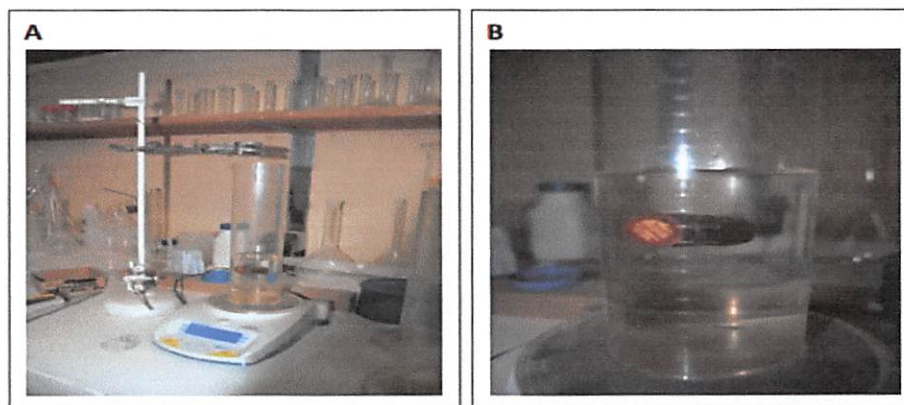


Figure 7. Méthode de pesée hydrostatique

En ce qui concerne le chronogramme des activités, nous pouvons le ventiler de la manière suivante : Inventaire des matériels, trois semaines; achat des Matériels, un mois; géo localisation des placebos et zonages par espèces, deux mois; cartographie des placebos, un mois; inventaire des espèces, un mois; extraction des carottes de bois, un mois; extraction des mesures des carottes, des masses, volume à frais (deux méthodes), un mois; prélèvement des mesures des carottes ; masse ; volume à sec par Four à 65°C, deux semaines; séchage des carottes, deux semaines; calcul de densité, deux semaines; séchage naturel, deux semaines; calcul des densités après séchage naturel, deux semaines; comparaison de densité à séchage par four et à séchage naturel, une semaine; discussion des résultats, une semaine; prise de décision ou validation, une semaine; compilation des données dans les fiches de campagne de biomasse in situ, deux mois; modélisation par moindre carrés, deux mois; calibrage du carbone par la formule de GIEC ($0,5 * \text{Masse}$) en kg soit en tonne carbone/placebos, un mois.

2.3.2. Logiciels utilisés

➤ Arc Gis 9.3, nous a permis de produire les cartes dans l'île Kongolo et des essences à chenilles se trouvant dans cette réserve après avoir géo référencées sur QGIS.

➤ Maps source, nous a permis à implémenter les données à partir de GPS dans la machine.

➤ Idrisi, nous a permis à calculer l'indice de la végétation de la Ville de Kisangani.

➤ QGIS, nous a permis à produire les différentes cartes en l'occurrence celle dans l'île Kongolo, des essences à chenilles se trouvant dans cette réserve.

➤ Spss 20.0 nous a permis d'établir l'équation de modélisation spatiale rendant compte du stockage du carbone dans les essences à chenilles comestibles dans l'île Kongolo ;

2.3.3. Acquisition des images satellitaires

✓ Images SRTM (courbes de niveau) : nous a permis de produire les cartes de courbe de niveau de l'île Kongolo et voir à quelle altitude il s'y trouve ;

✓ Images Landsat de la ville de Kisangani : nous a permis de calculer l'indice de végétation de la ville de Kisangani.

2.3.4. Traitement des données

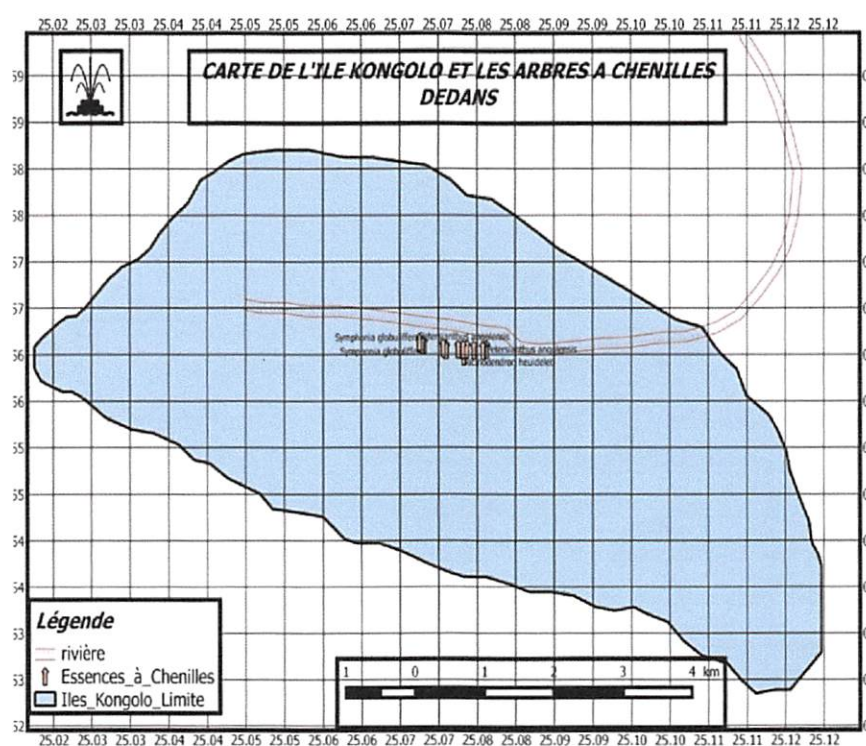
Nos données ont été traitées dans différents logiciels cités ci-haut y compris l'Excel, dont les résultats se présentent ci-dessous.

CHAPITRE TROISIEME : PRESENTATION DES RESULTATS

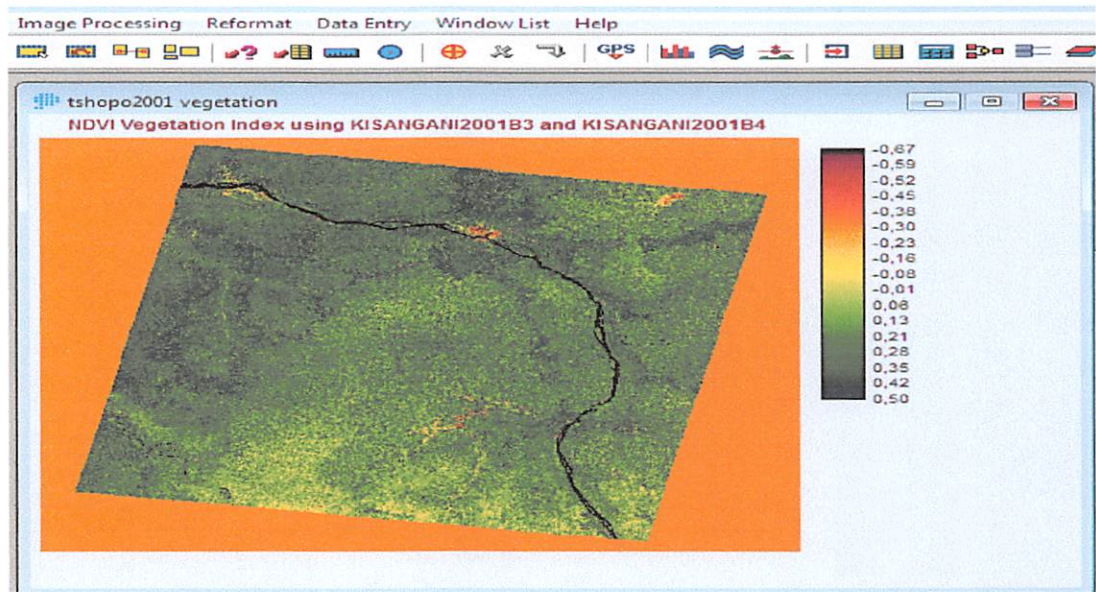
Ce chapitre présente et interprète les résultats obtenus à partir du traitement des informations spatiales, et de l'analyse des données de terrain par l'utilisation des logiciels SIG (Arc gis 9.3; Spss 20.0 et Qgis).

Ces résultats portent (fig. 8) sur la cartographie de la réserve ; la cartographie des courbes de niveau, l'identification des essences à chenilles se trouvant dans l'île Kongolo, le taux de déperdition des essences à chenilles se trouvant dans la réserve Forestière l'île Kongolo vu sa fréquence, les équations de corrélation et de modélisation et l'indice de Végétation de la Ville de Kisangani.

3.1. Présentation de la carte de l'île Kongolo



3.5. Indice de la végétation de la ville de Kisangani sous Idrisi Anders



Les résultats de modélisation des essences à chenilles sont respectivement repris à la figure 14 et au tableau 3.

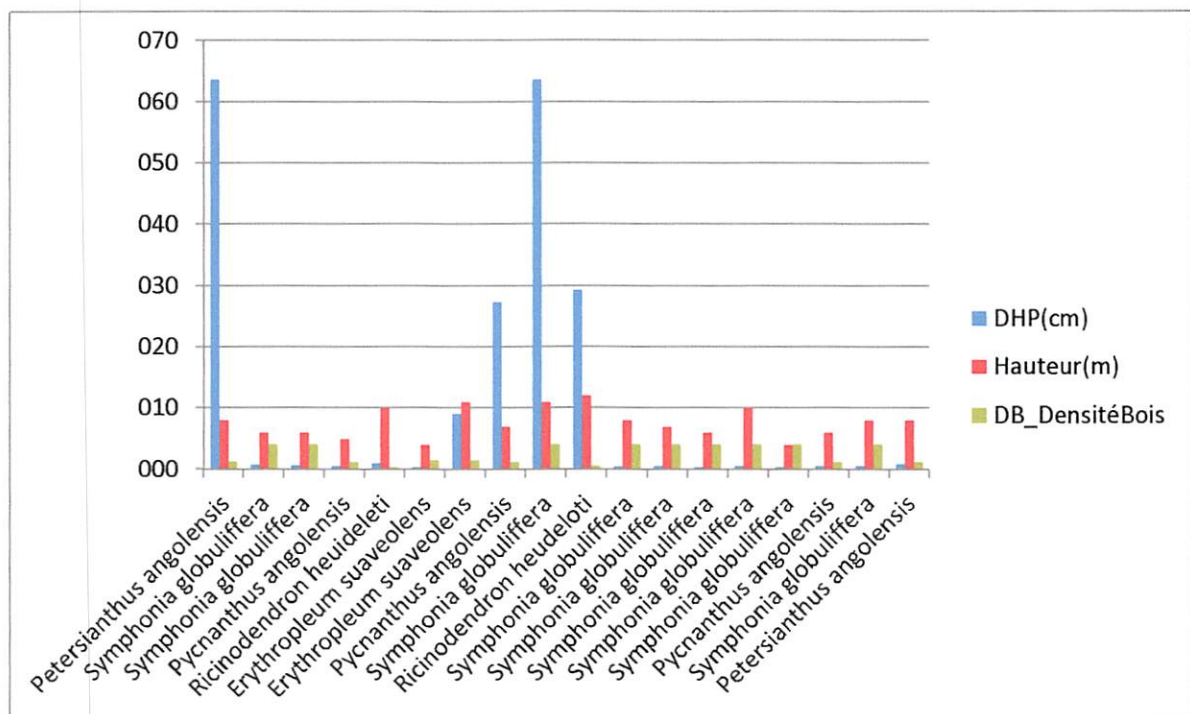
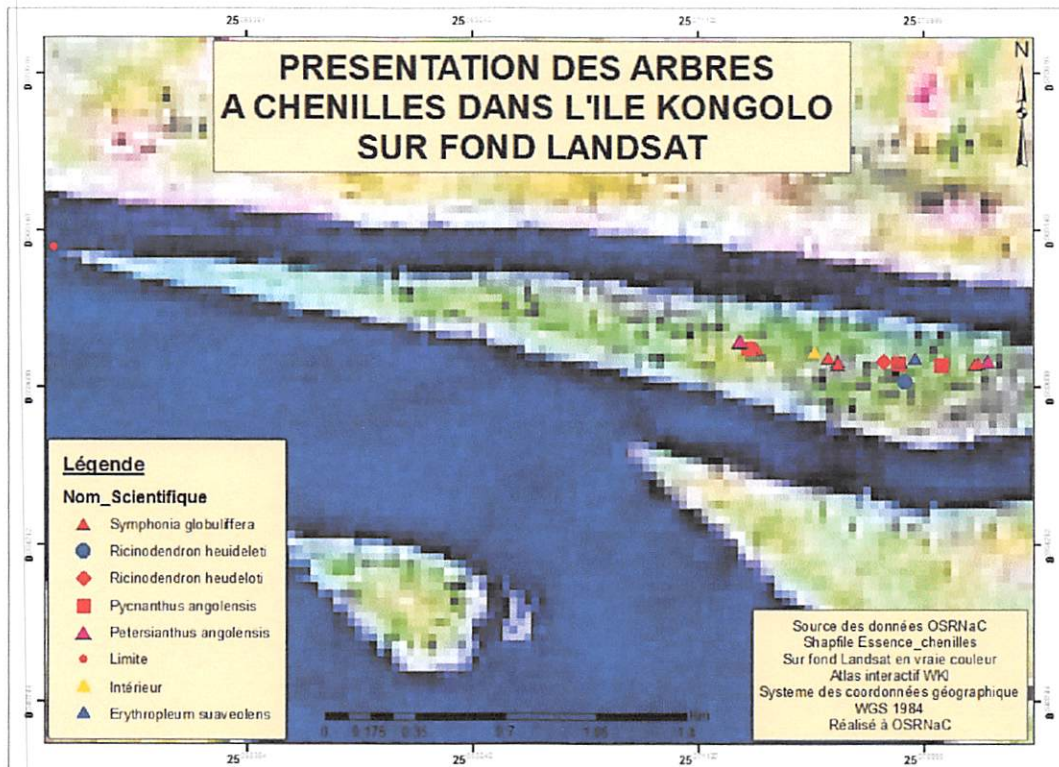
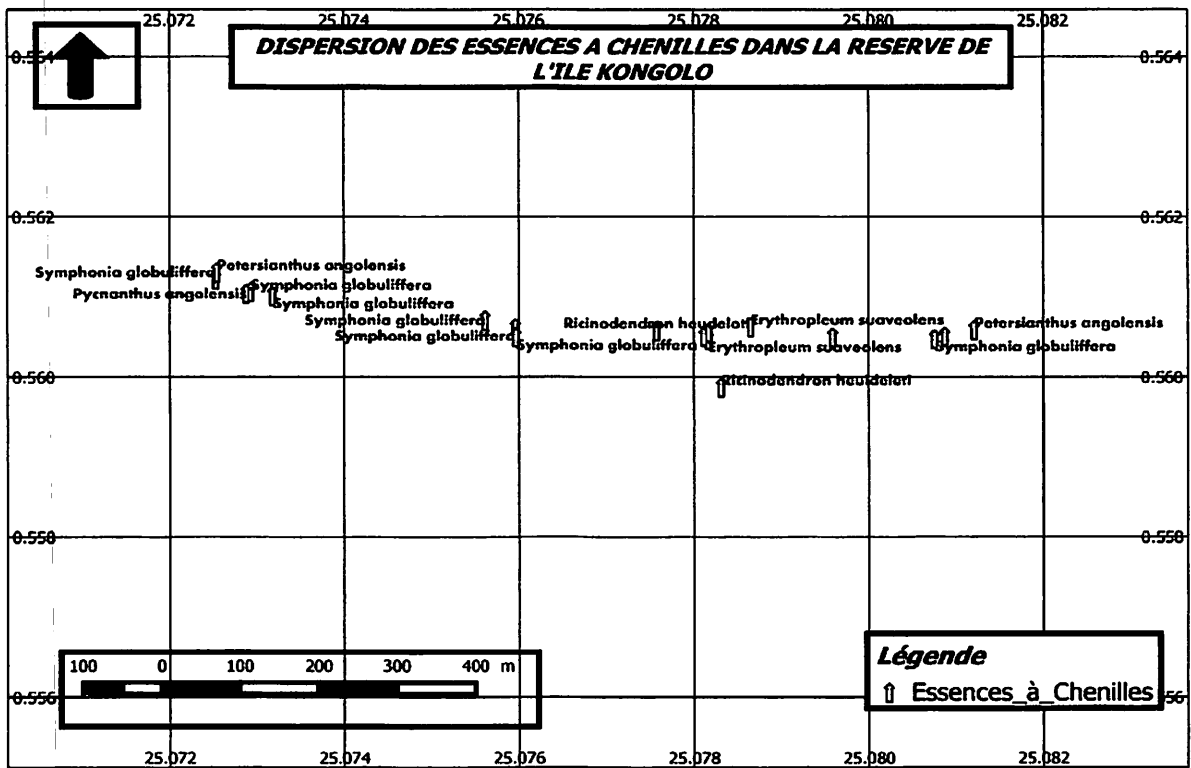


Figure 18. Modélisation des espèces à chenilles comestibles

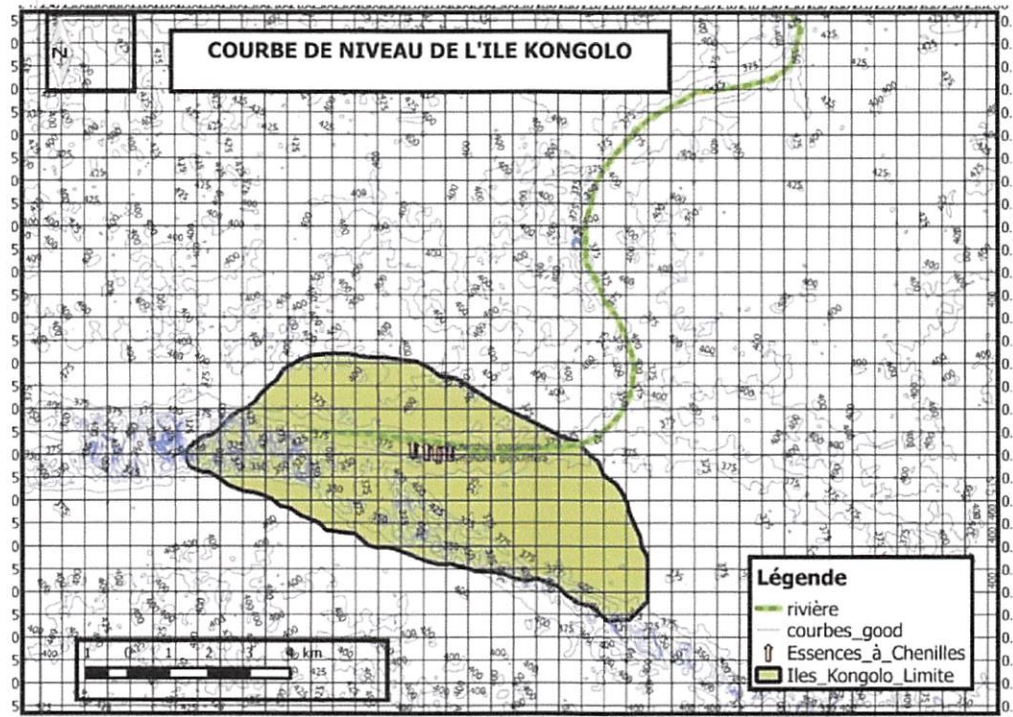
3.4. Présentation des arbres à chenilles dans l'île KONGOLO sur fond LANDSAT



3.3. Dispersion des essences à chenilles dans l'île KONGOLO



3.2. Courbe de niveau de l'île KONGOLO



Soit la densité du Bois : $DB = \frac{\rho_{BOIS}}{\rho_{EAU}}$;

ρ_{EAU} = Masse – Volumique de l'Eau = 1000Kg/m³ et ρ_{BOIS} = masse – volumique du bois ; $\rho_{BOIS} = DB * 1000$;

Alors la masse du bois de : $M = 1000 * Volume * DB$

Avec Volume = $H * DHP^2 * \pi / 4$;

Alors :

Masse Carbone en Kg vaut : $M = 1000 * DB * H * DHP^2 * \pi / 4$

Tableau 2. Fréquences des essences à chenilles comestibles dans la réserve forestière de l'île Kongolo

Essences	Fréquence absolue (ni)	Fréquence relative (%)
<i>Petersianthus</i>	<i>angolensis</i> 2	11,8
<i>Symphonia</i>	<i>globullifera</i> 8	47,0
<i>Erythropleum</i>	<i>suaveolens</i> 2	11,8
<i>Pycnanthus</i>	<i>angolensis</i> 3	17,6
<i>Ricinodendron</i>	<i>hedeulotii</i> 2	11,8
TOTAL (n)	17	100

Formule utilisée : $Fr = ni/n * 100$

Légende :

Fr : Fréquence relative qui montre le pourcentage d'une essence après l'inventaire.

ni : Fréquence absolue qui montre le nombre d'observation qui présente une modalité appartenant à cette classe.

n : nombre total d'observation.

Tableau 3. Densité des essences de l'île Kongolo

Essences	Nombre	DHP total (m)		Hauteur totale (m)		Densité (m ²)
<i>Petersianthus</i>	<i>angolensis</i>	2	64,56		16	1,27
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	8	67,52		58	4,10
<i>Erythroleum</i>	<i>suaveolens</i>	2		9,49		15
<i>Pycnanthus</i>	<i>angolensis</i>	3		28,60		1,48
<i>Ricinodendron</i>	<i>hedeulotii</i>	2		30,24		18
TOTAL		17				0,35

Modélisons l'ensemble de carbone des espèces à chenilles comestibles le long de sentier dans l'île cartographiée :

Tableau 4. Stockage du carbone des essences à chenilles dans l'île Kongolo

Espèces	DHP (m)	Hauteur (m)	Densité bois		Masse (kg)
<i>Petersianthus</i>	<i>Angolensis</i>	0,6369	8	1,27	3235,23523
<i>Pycnanthus</i>	<i>angolensis</i>	0,0061	5	1,24	0,18110107
<i>Pycnanthus</i>	<i>Angolensis</i>	0,2738	7	1,24	510,806329
<i>Pycnanthus</i>	<i>angolensis</i>	0,0061	8	4,10	0,95808308
<i>Petersianthus</i>	<i>macrocarpus</i>	0,0087	8	1,24	0,58941317
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	0,0079	6	4,10	1,20519951
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	0,0063	6	4,10	0,76645359
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	0,6369	11	4,10	14361,1327
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	0,0050	8	4,10	0,6437
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	0,0061	7	4,10	0,8383227
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	0,0038	6	1,24	0,27885084
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	0,0054	10	4,10	0,9585146
<i>Symphonia</i>	<i>globulifera</i>	0,0038	6	1,24	0,21732128
<i>Ricinodendroni</i>	<i>Hedeuloti</i>	0,0095	10	0,35	0,24796188
<i>Ricinodendroni</i>	<i>Hedeuloti</i>	0,2929	12	0,58	468,724484
<i>Erythroleum</i>	<i>suaveolens</i>	0,0039	4	1,48	0,07068391
<i>Erythroleum</i>	<i>suaveolens</i>	0,0912	11	1,48	106,29522

Tableau 5. Moyennes des paramètres dendrométriques selon les essences des chenilles comestibles de l'île Kongolo

Tableau de bord					
Espec		Mass	diam	Dens	Haut
Ang	Moyenne	170,648504	,095333	6,666667	2,193333
	N	3	3	3	3
	Ecart-type	294,5855735	,1545567	1,5275252	1,6512218
	Somme	511,9455	,2860	20,0000	6,5800
	Minimum	,1811	,0061	5,0000	1,2400
	Maximum	510,8063	,2738	8,0000	4,1000
Glob	Moyenne	1795,752638	,084400	7,500000	3,742500
	N	8	8	8	8
	Ecart-type	5077,1802839	,2232478	2,0000000	1,0111627
	Somme	14366,0211	,6752	60,0000	29,9400
	Minimum	,2173	,0038	6,0000	1,2400
	Maximum	14361,1327	,6369	11,0000	4,1000
Heude	Moyenne	234,486223	,151200	11,000000	,465000
	N	2	2	2	2
	Ecart-type	331,2629257	,2003941	1,4142136	,1626346
	Somme	468,9724	,3024	22,0000	,9300
	Minimum	,2480	,0095	10,0000	,3500
	Maximum	468,7245	,2929	12,0000	,5800
petersi	Moyenne	1617,912319	,322800	8,000000	1,255000
	N	2	2	2	2
	Ecart-type	2287,2399883	,4442045	0E-7	,0212132
	Somme	3235,8246	,6456	16,0000	2,5100
	Minimum	,5894	,0087	8,0000	1,2400
	Maximum	3235,2352	,6369	8,0000	1,2700
suaveo	Moyenne	53,182952	,047550	7,500000	1,480000
	N	2	2	2	2
	Ecart-type	75,1120896	,0617304	4,9497475	0E-7
	Somme	106,3659	,0951	15,0000	2,9600
	Minimum	,0707	,0039	4,0000	1,4800
	Maximum	106,2952	,0912	11,0000	1,4800
Total	Moyenne	1099,360565	,117900	7,823529	2,524706
	N	17	17	17	17
	Ecart-type	3505,8408265	,2157152	2,2976971	1,5556876
	Somme	18689,1296	2,0043	133,0000	42,9200
	Minimum	,0707	,0038	4,0000	,3500
	Maximum	14361,1327	,6369	12,0000	4,1000

Tableau 6. Analyse de variance des interactions paramètres dendrométriques et essences à chenilles de l'île Kongolo.

Tableau ANOVA^a

			Somme des carrés	df	Moyenne des carrés	F	Signification
mass * espec	Inter-groupes	Combiné	10689995,922	4	2672498,981	,172	,948
	Intra-classe		185964722,485	12	15497060,207		
	Total		196654718,408	16			
diam * espec	Inter-groupes	Combiné	,107	4	,027	,501	,736
	Intra-classe		,638	12	,053		
	Total		,745	16			
dens * espec	Inter-groupes	Combiné	25,304	4	6,326	1,283	,330
	Intra-classe		59,167	12	4,931		
	Total		84,471	16			
haut * espec	Inter-groupes	Combiné	26,086	4	6,521	6,193	,006
	Intra-classe		12,637	12	1,053		
	Total		38,723	16			

a. Le critère de regroupement espec est une chaîne de caractères et le test de linéarité ne peut donc pas être calculé.

Tableau 7. Matrice de corrélations entre les paramètres dendrométriques des essences à chenilles dans l'île Kongolo.

Corrélations

		Diam	dens	Haut	Mass
diam	Corrélation de Pearson	1	,426	-,148	,768**
	Sig. (bilatérale)		,088	,570	,000
	N	17	17	17	17
dens	Corrélation de Pearson	,426	1	-,114	,373
	Sig. (bilatérale)	,088		,663	,140
	N	17	17	17	17
haut	Corrélation de Pearson	-,148	-,114	1	,194
	Sig. (bilatérale)	,570	,663		,457
	N	17	17	17	17
mass	Corrélation de Pearson	,768**	,373	,194	1
	Sig. (bilatérale)	,000	,140	,457	
	N	17	17	17	17

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Tableau 8. Equation de régression multiple du stock de carbone dans les arbres à chenilles dans l'île Kongolo

Variables introduites/supprimées ^a			
Modèle	Variables introduites	Variables supprimées	Méthode
1	Diam		Pas à pas (critère : Probabilité de F pour introduire ≤ ,050, Probabilité de F pour éliminer ≥ ,100).

a. Variable dépendante : mass

Récapitulatif des modèles ^b				
Modèle	R	R-deux	R-deux ajusté	Erreur standard de l'estimation
1	,768 ^a	,590	,562	2319,8106133

a. Valeurs prédites : (constantes), diam

b. Variable dépendante : mass

ANOVA ^a						
Modèle		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
1	Régression	115931899,185	1	115931899,185	21,543	,000 ^b
	Résidu	80722819,223	15	5381521,282		
	Total	196654718,408	16			

a. Variable dépendante : mass

b. Valeurs prédites : (constantes), diam

Coefficients^a

Modèle		Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	T	Sig.
		A	Erreur standard	Bêta		
1	(Constante)	-371,849	645,781		-,576	,573
	Diam	12478,455	2688,511	,768	4,641	,000

a. Variable dépendante : mass

Variables exclues^a

Modèle		Bêta dans	t	Sig.	Corrélation partielle	Statistiques de colinéarité
						Tolérance
1	dens	,056 ^b	,294	,773	,078	,818
	Haut	,314 ^b	2,077	,057	,485	,978

a. Variable dépendante : mass

b. Valeurs prédites dans le modèle : (constantes), diam

Tableau 9. Test du Khi-deux des fréquences et paramètres dendrométriques
des essences des chenilles comestibles de l'île Kongolo

Fréquences

Diam			
	Effectif observé	Effectif théorique	Résidu
,0038	2	1,3	,7
,0039	1	1,3	-,3
,0050	1	1,3	-,3
,0054	1	1,3	-,3
,0061	3	1,3	1,7
,0063	1	1,3	-,3
,0079	1	1,3	-,3
,0087	1	1,3	-,3
,0095	1	1,3	-,3
,0912	1	1,3	-,3
,2738	1	1,3	-,3
,2929	1	1,3	-,3
,6369	2	1,3	,7
Total	17		

Dens			
	Effectif observé	Effectif théorique	Résidu
4,0000	1	2,1	-1,1
5,0000	1	2,1	-1,1
6,0000	4	2,1	1,9
7,0000	2	2,1	-,1
8,0000	4	2,1	1,9
10,0000	2	2,1	-,1
11,0000	2	2,1	-,1
12,0000	1	2,1	-1,1
Total	17		

Haut

	Effectif observé	Effectif théorique	Résidu
,3500	1	2,8	-1,8
,5800	1	2,8	-1,8
1,2400	4	2,8	1,2
1,2700	1	2,8	-1,8
1,4800	2	2,8	-,8
4,1000	8	2,8	5,2
Total	17		

Mass

	Effectif observé	Effectif théorique	Résidu
,0707	1	1,0	,0
,1811	1	1,0	,0
,2173	1	1,0	,0
,2480	1	1,0	,0
,2789	1	1,0	,0
,5894	1	1,0	,0
,6437	1	1,0	,0
,7665	1	1,0	,0
,8383	1	1,0	,0
,9385	1	1,0	,0
,9581	1	1,0	,0
1,2052	1	1,0	,0
106,2952	1	1,0	,0
468,7245	1	1,0	,0
510,8063	1	1,0	,0
3235,2352	1	1,0	,0
14361,1327	1	1,0	,0
Total	17		

Test				
	Diam	dens	haut	mass
Khi-deux	3,647 ^a	5,118 ^b	13,706 ^c	,000 ^d
Ddl	12	7	5	16
Signification asymptotique	,989	,646	,018	1,000

a. 13 cellules (100,0%) ont des fréquences théoriques inférieures à 5. La fréquence théorique minimum d'une cellule est 1,3.

b. 8 cellules (100,0%) ont des fréquences théoriques inférieures à 5. La fréquence théorique minimum d'une cellule est 2,1.

c. 6 cellules (100,0%) ont des fréquences théoriques inférieures à 5. La fréquence théorique minimum d'une cellule est 2,8.

d. 17 cellules (100,0%) ont des fréquences théoriques inférieures à 5. La fréquence théorique minimum d'une cellule est 1,0.

Tableau 10. Equation de régression multiple du stock de carbone dans les arbres à chenilles dans l'île Kongolo

Modèle	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
1 Régression	7,231	1	7,231	27,249	,014 ^b
Résidu	,796	3	,265		
Total	8,027	4			

a. Variable dépendante : Densité

b. Valeurs prédites : (constantes), Fréquence

Cette prévision est calculée par des équations de régression

ANOVA :

Le modèle 2 : $7,231 + 0,796 \times \text{Fréquence}$.

Tableau 10 a. Prévisions numériques des fréquences des essences à chenilles dans la réserve forestière de l'île Kongolo

Coefficients ^a					
Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.
	A	Erreur standard	Bêta		
1	(Constante)	-,065	,407	-,160	,883
	Fréquence	,516	,099	,949	,014

Il ressort de tableau 8 le modèle suivant :

Le modèle 3 : $\text{Log (Fréquence)} = 0,516 - 0,065 \times \text{Fréquence}$.

Tableau 10 b. Prévisions numériques du diamètre et hauteur des essences à chenilles dans la réserve forestière de l'île Kongolo

Modèle	Bêta dans	T	Sig.	Corrélation partielle	Statistiques de colinéarité
					Tolérance
1	Diamètre	,018 ^b	,065	-,954	,046
	Hauteur	-,631 ^b	-,675	,569	-,431

a. Variable dépendante : Densité

b. Valeurs prédites dans le modèle : (constantes), Fréquence

Le tableau 23 Indique le modèle ci-après :

Le modèle 4 : $\text{Log (Diamètre)} = 0,018^b - 0,631^b \times \text{Densité}$

$\text{Log (hauteur)} = 0,065 - 0,675 \times \text{Densité}$

CHAPITRE QUATRIEME DISCUSSION DES RESULTATS

Il ressort de la figure 8 qu'il existe des arbres à chenilles dans l'île Kongolo. Cette carte nous a aidé à calculer la superficie de cette réserve qui est de 7km².

Il découle de la figure 9 que des arbres à chenilles se trouvent parmi les 17 essences répertoriées dans l'île Kongolo.

La figure 8 montre que l'île accuse une faible valeur en espèces végétales hôtes des chenilles comestibles (Lalanne et al, 1998).

Il ressort de cette figure 10 que la courbe de niveau de l'île Kongolo, alimentée par la rivière Lindi, est à une altitude inférieure à 400m ; ce qui représente environ 325, niveau le plus bas à la base des catastrophes naturelles comme les inondations...

L'image de la fig. 13 permet de suivre l'activité chlorophyllienne de la réserve et la déforestation qui peuvent être une cause du changement climatique.

Il ressort de cette figure que les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

Cette image est le résultat des bandes rouge et de l'infra-rouge sur canal3 et Canal 4, c'est ce qui a donné les résultats positif et négatif qui se trouvent à droite de l'image. Les signes positifs montrent la présence de végétation dans la ville de Kisangani tandis que les signes négatifs montrent la quasi-totalité de la végétation, qui peut être par exemple les espaces habités, les terrains agricoles, les eaux, l'aéroport...Et en observant cette image, l'étendue occupée par la forêt est moins faible que celle occupée par d'autres histoires.

L'indice Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), reconnu pour caractériser la biomasse foliaire du couvert végétal au cours du temps

Ces deux indices sont calculés à partir des mesures de réflectance dans différentes longueurs d'onde selon les équations suivantes :

$$NDVI = (\sigma_{PIR} - \sigma_R) / (\sigma_{PIR} + \sigma_R)$$

σ_R , σ_{PIR} et σ_{MIR} correspondant respectivement à la réflectance dans le rouge, le proche infrarouge et le moyen infrarouge.

En regard des perturbations climatiques, il faut s'attendre à ce que les peuplements forestiers soient soumis à un nombre croissant d'aléas climatiques qui les affectent et les affaiblissent progressivement (Lindner et al, 2008).

La question est alors de savoir comment renforcer leur résilience pour qu'ils puissent faire face à ces bouleversements. Dans cette démarche, l'évaluation de l'adéquation « essence forestière-station » est essentielle. Elle doit s'appuyer sur une bonne connaissance de l'autoécologie des essences et sur des moyens efficaces de caractérisation des stations forestières (Claessens et al. 2002).

Le tableau 2 révèle que l'espèce *Symphonia globulifera* a une fréquence la plus élevée par rapport à d'autres espèces avec 47% ; suivi de *Pycnanthus angolensis* qui a 17,8 %, après viennent *Petersianthus angolensis*, *Ricinodendron heudelotii* et *Erythrophleum suaveolens* qui ont tous 11,8 %.

L'interpolation de certains paramètres statistiques et des données dérivées permet la production des cartographies prédictives des différents indicateurs dendrométriques comme la hauteur moyenne et la densité.

La cartographie de la hauteur moyenne nous renseigne sur l'homogénéité de la canopée à l'échelle du peuplement. Elle constitue une cartographie de référence pour identifier et délimiter les grands ensembles forestiers (Kabasele, 2013).

L'utilisation du mode de la hauteur c'est-à-dire de la hauteur la plus fréquemment représentée, complète l'information donnée sur la hauteur moyenne. Elle apporte par exemple des précisions de nature à identifier et délimiter les anciennes traces d'occupation ou les zones de forêt secondaire.

L'analyse du tableau 4 révèle la présence de 5 essences à chenilles inventoriées comme échantillonnage dont le nombre total fait 17, dans la réserve forestière de l'île Kongolo dont 2 espèces de *Petersianthus macrocarpus* (Bofo) ; 8 espèces de *Symphonia globulifera* (Booso) ; 2 espèces de *Erythrophleum suaveolens* (Bolanda) ; 3 espèces de *Pycnanthus angolensis* (Likoka) et 2 espèces de *Ricinodendron heudelotii* (Lisonge) avec une densité moyenne de 0,49 m² ; un DHP moyen de 11,78m ; et de hauteur moyenne de 8,47 sur une superficie de 7km² de la réserve.

Le tableau 7 révèle une corrélation très significative (0,768) au seuil de 0,01 entre le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et l'accumulation du carbone dans les essences hôtes des chenilles comestibles dans l'île Kongolo. L'analyse de la régression multiple pas à pas (tabl. 8) donne l'équation de modélisation suivante :

$$Y = - 371,849 + 12478,455 x$$

où

Y = accumulation du carbone dans les essences étudiées

X = Diamètre à hauteur de poitrine

Le coefficient de détermination ($R^2 = 0,590$) explique que la variation de l'accumulation du carbone dans les essences est expliquée à 59 % par la variation du Diamètre à hauteur de poitrine (DHP). *Petersiathus angolensis* avec un DHP de 0,64 m a séquestré 3,2 tonnes de carbone contre 0,6 kg pour le *Symphonia globuffiera* avec un DHP de 0,005 m.

La variation des DHP chez le *Symphonia globuffiera* s'expliquerait par des conditions climatiques et édaphiques du milieu (Fig.11).

Les prévisions numériques des fréquences (tabl.10) peuvent être décrites par les modèles suivants :

Modèle 1 : $7,231 + 0,796 \times \text{Fréquence}$.

Modèle 2 : $0,5 + 0,1 \times \text{diamètre}$

Respectivement pour les fréquences et le diamètre à hauteur de poitrine. Cela stipule comment la variable densité est dépendante des autres.

CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS

Cette étude entreprise dans la Ville de Kisangani, plus précisément dans l'île Kongolo trouve son origine dans les questions liées à la déperdition des ressources naturelles notamment les essences à chenilles comestibles suite aux actions anthropiques.

Les objectifs poursuivis par notre étude en l'occurrence :

- ✦ Esquisser la cartographie dans l'île Kongo renfermant des essences à chenilles ;

En effet les résultats obtenus relatifs à l'élaboration de la carte dans l'île Kongolo renfermant les arbres à chenilles a été élaborée montrent que cet objectif a été atteint.

- ✦ Evaluer grâce à l'indice de la végétation le taux de déperdition des essences à chenilles comestibles suite aux actions anthropiques. En effet l'indice de végétation obtenu rend compte de larges espaces déforestés mettant hélas en péril les arbres hôtes de chenilles comestibles.

Etablir l'équation de modélisation spatiale qui rend compte du stockage du carbone dans les essences à chenilles comestibles dans l'île Kongolo. En effet l'équation de modélisation :

$$\text{Carbone organique (Kg)} = - 371,849 + 12478,455 \text{ DHP (cm)}$$

Constitue un modèle performant de gestion durable des essences dans l'île Kongolo afin de prévenir les risques de perte de la biodiversité face aux changements climatiques. Avec un taux de déperdition plus élevée, les essences à chenilles comestibles comme *Petersianthus angolensis*, *Ricinodendron heudelotii*, *Erythrophleum suaveolens* sont les plus menacées.

Nous avons inventorié un échantillonnage de 5 essences avec un total de 17 arbres à chenilles répartis de la manière suivante :

2 spécimens de *Petersianthus macrocarpus* (Bofo) ; 8 specimens de *Symphonia globulifera* (Booso) ; 2 spécimens de *Erythrophleum suaveolens* (Bolanda) ; 3 specimens de *Pycnanthus angolensis* (Likoka) et 2 specimens de *Ricinodendron heudelotii* (Lisonge) avec une densité moyenne de 0,49 m² ; un DHP moyen de 11,78m ; et de hauteur moyenne de 8,47 sur une superficie de 7km² de la réserve. Le calcul de leur fréquence a donné pour *Symphonia globulifera* la fréquence la plus élevée par rapport à d'autres espèces avec 47% ; suivi de *Pycnanthus angolensis* qui a 17,8 %, après viennent *Petersianthus angolensis*, *Ricinodendron heudelotii*, *Erythrophleum suaveolens* qui ont 11,8% toutes.

En vue de la prévention de la perte de la biodiversité suite aux intenses actions anthropiques, il s'avère impérieux de définir les nouveaux modes de gestion durable de l'espace rural de l'île Kongolo.

Aussi suggérons- nous ce qui suit :

➤ Aux chercheurs :

- D'entreprendre cette étude dans d'autres site forestiers de la ville de Kisangani ;

➤ Au gouvernement provincial :

- De s'engager pour la lutte contre le changement climatique en procédant au reboisement des espaces déforestés, facteur de pauvreté du petit fermier

- D'accorder un appui logistique consistant aux gardes de cette réserve.

➤ Aux aménagistes que nous sommes :

- De mettre au point grâce aux outils numériques un système d'alerte auprès des décideurs politiques et autres opérateurs économiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anonyme, 2006. Encyclopédie Wikipedia 2006
(<http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil>)

Anonyme., 1988. Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale.

Anonyme, 2015. Acquisition des images satellitaires SRTM, Landsat ; et des logiciels SIG. Laboratoire de l'Observatoire Spatial des Ressources Naturelles et du Climat (ORSNAC) de l'UPN à Kinshasa

Anonyme, 2015. Données pluviométriques ou climatique (températures maximale et minimale, précipitations de 2015) de la ville de Kisangani, 2p. Service de la Météorologie de Kisangani,

Baize D., Girard M.C, 2008. Référentiel pédologique. Association française pour l'étude du sol (AfeS). Editions QUAE, 435 p.

Beckage; B; et Clark, J.S, 2003. Seedling survival and growth of three forest species: the role of spatial heterogeneity. *Ecology* 84/ 1849 - 1861

Burel F. et Baudry, J., 1999. *Ecologie des paysages: concepts, méthodes et applications*. Lavoisier, Paris.

Chapin F.S, Zavaleta E.S, Eviner, V.T, Naylor, R.L, Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U, Lavoural, S, Sala, O.E, Hobbie S.E, Mack, M.C., Diaz, S; 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405: 234 - 242

Goreaud, F., Courbaud, B. et Collinet, F., 1999. Spatial structure analysis applied to modelling of forest dynamics: few examples. In *empirical and Process Based Models for Forest Tree and Stand Growth simulation* (eds. A. Amaro et M. Tomé). Salamandra, Lisboa.

Graux, A.E., 2011. Modélisation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes prairiaux. Thèse de Doctorat. Université Blaise Pascal. Clermont - Ferrant II.

Degenne.P. et Lo Seen, 2010. Modéliser pour mieux comprendre les paysages dont les changements nous affectent. Dossier Agropolis n° 9.

Ehrich, 1970. La forêt est une source de richesse, mais l'augmentation de la population, si elle n'est pas contrôlée, c'est un facteur de déséquilibre dans la nature. Citation

Eungi, E. (2014). Modélisation spatiale des étangs d'eaux dans les communes de Kabondo et de Kisangani dans la Ville de Kisangani, Mémoire de Fin d'étude en Eaux et Forêts, UNIKIS/FGRNR 109p.

Ilunga, C., 2012. Cartographie par télédétection de l'occupation du sol dans

IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on climate change. Climate change : synthesis Report.

Kabasele Y.Y., 2009, Bas Fleuve Utilisation des Données Spatiales en Appui à la Modélisation de la Climatologie, de la Limnimétrie et de la Mare graphie en RD Congo, Thèse de doctorat UPN Kinshasa.

Kabasele Y.Y., 2006 Etude Comparative des Masses Végétales et des Masses d'Air par Télédétection LANDSAT entre le Maroc et la RD Congo, DEA CRASTE, Rabat Maroc.

Kabasele, Y., 2013. Notes de Cours de Géomatique Satellitaire, Télédétection Satellitaire et Gestion de l'environnement. Université de Kisangani premier grade Eaux et Forêts/ FGRNR, cours Inédit.

Legay, J.M., 2006. L'interdisciplinarité dans les sciences de la vie. Editions Quae, p. 174.

Mikwa, J. , 2010. *Evaluation par télédétection des effets de la déforestation et de la dégradation des forêts à Kisangani (Cas de la Région forestière de Masako)*. Dissertation DEA, UNIKIS, Faculté des sciences, 54 p.

Mosango, 1990

Nasa, 2001

Ndinga, K., 2011. Potentialités des images à très haute résolution spatiale dans l'identification des essences forestières en zones équatoriale ; cas de la Reserve forestière de Yoko (Province Orientale/RDC), Mémoire de DEA en Aménagement des forêts congolaises, 30p.

Pamani, 2005. Identification des géo risques par une approche de télédétection et dynamique du phénomène d'érosion sur la Colline du Mont-Amba. Mémoire de fin d'études, UNIKIN, Faculté des sciences Agronomiques, 67 p.

Polasky, S., Costello C., Solow, A. 2005. The economics of biodiversity conservation. In the Handbook of Environment

Peng, 2000

Poirion, F., Irmela et Zenter, 2012. Non - Gaussian non stationary models for natural hazard modeling Applied Mathematical Modelling, Vol 37, Issue 8, pp 5938 - 5950.

Propeck - Zimmermann, E., Saint Gérard, T., 2007. La géomatique des risques : de l'information interaxctive à l'information inter - acteurs. Le cas des risques industriels.

Reffye, Ph. de., Edelin, C., Jaeger, M., 1999. Modélisation de l'architecture des plantes. La Recherche, Vol. 20, n° 207, pp 158 - 168.

Seabloom, E.W et Van der Valk, A.G, 2003. The development of vegetative zonation patterns in restored prairie pothole Wetlands. *Journal of Applied Ecology*, 40, 92 - 100.

Sigwalt, A., Pain G., Pancher, A. and Vincent, A., 2010. Biodiversity between collective commercial production and landscape agronomy innovation. Innovation and sustainable development in agriculture and food. Montpellier. Communication avec Actes dans un Congrès international (ACTI).

Veyret, Y., 2004. Géographie des risques naturels en France. De l'aléa à la gestion, Paris, Hatier, 256 p Robin, 2002

WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources. Ed. FAO, IUSS, ISRIC, Rapport FAO n°103, Rome, 132 p

WEBOGRAPHIE

Centre Canadien de Télédétection : <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>)

Online at <http://www.memoireonline.org>

Online <http://www.memoireonline.10.0.0>

Online at <http://www.esu.u-psud.fr>

Site : www.unamur.be/sciences/geographie/e.

[file:///G:/spatial Model. Learning object1.html](file:///G:/spatial%20Model/Learning%20object1.html)

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	3
Listes des figures	5
Liste des tableaux	6
Liste des sigles utilisés	8
0. INTRODUCTION.....	9
0.1. PROBLEMATIQUE	11
0.2. INTERET DU TRAVAIL.....	14
0.3. HYPOTHESES	15
0.4. OBJECTIFS	15
1.1.1. Concepts de modélisation spatiale	17
1.2. APERCU SUR LES TECHNIQUES D'INFORMATION SPATIALE.....	23
1.2.1. Introduction sur la télédétection spatiale (remote sensing).....	23
1.2.2. Importance de la télédétection dans la gestion forestière.....	25
1.2.3. Apport de la télédétection pour la connaissance des enjeux environnementaux	25
1.2.4. Définition du concept : système d'information géographique (SIG)	26
1.3. GENERALITES SUR LES ARBRES A CHENILLES COMESTIBLES	28
1.3.1. Arbres à chenilles comestibles.....	28
1.3.2. Chenilles comestibles.....	30
CHAPITRE DEUXIEME MATERIELS ET METHODES.....	32
II.1. MILIEU D'ETUDE	32
2.1.1. Situation Géographique et Administrative	33
2.1.2. Situation climatique	34
(Source: Service Météorologique, ville de Kisangani)	34
2.1.3. Sol.....	34
2.1.4. Végétation.....	35
II.2. MATERIELS	36
2.2.1. Matériels biologiques	36
2.2.2. Matériels non biologiques.....	36
2.1.2. Logiciels.....	37
II.3. METHODES	37
2.3.1. Récolte des données sur terrain.....	37

2.3.2. Logiciels utilisés	42
2.3.3. Acquisition des images satellitaires	43
2.3.4. Traitement des données	43
CHAPITRE TROISIEME. PRESENTATION DES RESULTATS.....	44
3.1. <i>Présentation de la carte de l'île Kongolo</i>	44
3.2. <i>Courbe de niveau de l'île KONGOLO</i>	45
3.3. <i>Dispersion des essences à chenilles dans l'île KONGOLO</i>	46
.....	46
3.4. <i>Présentation des arbres à chenilles dans l'île KONGOLO sur fond LANDSAT</i> ..	47
.....	47
3.5. <i>Indice de la végétation de la ville de Kisangani sous Idrisi Anders</i>	48
CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS.....	63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	65
TABLE DES MATIERES.....	69